

依存型意味論による複数照応の分析

Plural anaphora in Dependent Type Semantics

田中 リベカ *¹ 峯島 宏次 *^{1*2} 戸次 大介 *^{1*2}
 Ribeka Tanaka Koji Mineshima Daisuke Bekki

*¹お茶の水女子大学 Ochanomizu University
 *²独立行政法人科学技術振興機構, CREST
 CREST, Japan Science and Technology Agency

This paper presents an analysis of plural anaphora in Dependent Type Semantics (DTS). DTS is a proof-theoretic compositional semantics for natural language, which has an expressive power based on dependent type theory. One of the distinctive features of DTS is that it is augmented with underspecified terms so as to provide a unified analysis of entailment, anaphora, and presupposition from an inferential/computational perspective. DTS has provided analyses of so-called donkey anaphora and singular inter-sentential anaphora, and it serves as an alternative to the well-studied model-theoretic frameworks of dynamic semantics. In this paper, we focus on plural anaphora that involves dependent interpretations of pronouns, which is one of the challenging examples of discourse anaphora. We show that the interaction of the anaphora resolution procedure and the analysis of quantificational expressions in DTS leads to the intended dependent interpretations of pronouns.

1. はじめに

自然言語の代名詞が示す多様な照応現象は、形式意味論で古くから議論されているパズルの1つである。代名詞が関わる照応現象には複数の異なるタイプが観察されており、その1つに以下の例のようなEタイプ照応がある [Evans 80] *¹。

(1) A man¹ entered. He₁ whistled.

代名詞を変項（またはそれに類するもの）に対応づける一般的な見方に基づくと、2文目の代名詞は変項の「自由な」出現であるとみなされる。そうだとすると、(1)で照応関係が成立するという現象は説明を要するものであった。

さらに、複数形代名詞が関与するEタイプ照応では、より複雑な現象が観察されることが知られている。その1つに、以下のような代名詞の依存的解釈の例がある [Krifka 96, Nouwen 03]。

(2) Three students¹ wrote a paper².
 They₁ sent it₂ to L&P.

2文目の代名詞 *they* は、1文目で言及されている学生の集まりを参照する。しかし、代名詞 *it* によって各学生が書いた論文に言及できることを考慮すると、代名詞 *they* が単に学生の集まりを参照するという見方は単純すぎると考えられる。代名詞 *they* が参照するのは、学生とその学生が書いた論文の間の依存関係を伴うような、より複雑な対象である。

上記の現象をはじめとする多様かつ複雑なEタイプ照応に説明を与えるため、動的意味論 (dynamic semantics) の諸理論において多くの研究がなされてきた。先行文が文脈中に動的に導入する情報構造を適切にモデル化することで、様々なタイプのEタイプ照応を統一的に扱う手法が提案されている。

これら従来のモデル論的な自然言語意味論に対して、本研究では、依存型理論に基づく証明論的意味論である依存型意味論 (Dependent Type Semantics; DTS) [Bekki 14] の枠組みにおいて、複数形のEタイプ照応の分析を与える。DTSでは、依存型理論がもつ表現力に加え、照応表現を表す未指定項 (underspecified term) と型推論・型チェック・証明探索プロセスによって照応解決が説明される。これまで、東縛変

連絡先: 田中リベカ (お茶の水女子大学大学院) 東京都大塚
 2-1-1. 03-5978-5389. tanaka.ribeka@is.ocha.ac.jp

*¹ 例文中の上付きと下付きの数字は、先行詞と照応詞の対応を示す。

項照応や単数形のEタイプ照応の分析に一定の成功をおさめている。本研究では、DTSにおけるEタイプ照応の分析と、[Tanaka 14b, Tanaka 14a]で提案された一般化量子/数量詞文の分析を自然に組み合わせることで、複数形Eタイプ照応における代名詞の依存的解釈が説明可能であることを示す。

2. 複数照応と先行研究

本研究では、冒頭で見た(2)のEタイプ照応の例に焦点をあてる。(2)には少なくとも2通りの解釈がある。1つは、3人の学生が共同で一本の論文を書き、その一本の論文をL&Pに送ったという解釈である。3人の学生を1つの集団とみなし、述語がその集団に対して解釈されることから、集団的解釈 (collective reading) と呼ばれる。集団的解釈は、複数の個体から成る集合体の構造を分析に導入することで導き出せる *²。

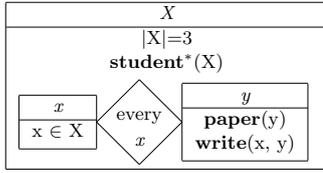
もう1つの読みは分配的解釈 (distributive reading) と呼ばれる。3人の学生各々についてその学生が書いた論文が存在し、各自が自身の論文をL&Pに送ったという解釈である。分配的な操作を可能にするオペレータが存在すると仮定すれば *³、各個体に対して述語を解釈することが可能である。

しかしここで問題となるのは(2)の2文目の代名詞 *it* の解釈である。1文目の述語が分配的に解釈された結果、それぞれの学生に対して、その学生が書いた個別の論文が存在することになる。この個々の論文を参照する読みが、ここで求められている解釈である。1文目で言及された複数人の学生を代名詞 *they* が参照する際、1文目で言及された学生についての情報は一度束ねられていると考えられる。しかしこの束ねる操作において、学生と個々の論文の間に存在していた依存関係は失われていない。その証拠に *it* はその学生自身が書いた論文を参照し、「自分以外の学生が書いた論文をL&Pに送った」という解釈は不可能である。この点において、単数の場合のEタイプ照応にはなかった複雑性が観察される。本研究では、(2)の分配的解釈における、代名詞 *it* の依存的解釈を導く照応解決を実現することを目指す。

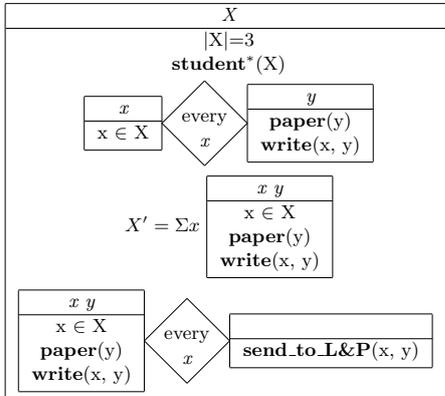
*² メレオロジー的和を用いる分析 [Link 83] が広く採用されている。また依存型理論に基づく研究では、リストを用いる手法 [Boldini 01, Chatzikyriakidis 13] が提案されている。集団的解釈の分析については本稿では取り上げず、別の機会に譲る。

*³ 特に文中に *each* が出現する場合、分配オペレータが明示的に導入されていると考えることができる。

談話表示理論 (DRT) [Kamp 93] では、複数照応に必要な機構として *abstraction* という操作が定義されており、これが (2) における *it* の依存的解釈を可能にする*4。(2) の 1 文目について、まず以下のような DRS が構築される。



この DRS の構築にトリガされ、続いて *abstraction* の操作が適用される。これによって、制限部 (*restrictor*) と核作用域 (*nuclear scope*) に記述された条件を全て満たす x の集まりである、新しい指示標識 X' が生成される*5。この X' を *they* の参照先とし、さらに X' のもつ条件の記述を全て新しい DRS の前件部にコピーする。これにより、2 文目の DRS の前件部に指示標識 y が含まれた状態を作り出すことができるため、*it* の照応解決が可能になる。



Krifka は、1 文目で文脈に導入された学生と論文の間の依存関係を捉えるため、*parametrized sum individuals* (PSI) という構造を用いて、複数形式をモデル化した [Krifka 96]。PSI は、個体とその個体に特有の変数の割り当てからなる組の集合である。たとえば「学生 s_1, s_2, s_3 がそれぞれ論文 p_1, p_2, p_3 を書いた」というモデルのもとでは、*Three students¹ wrote a paper²* という文は以下のような割り当てを生成する。

$$[1 \rightarrow \{s_1[2 \rightarrow p_1], s_2[2 \rightarrow p_2], s_3[2 \rightarrow p_3]\}]$$

複数形式 *three students* に対応するインデックス 1 に PSI が割り当てられており、その要素は s_1 とそれに付随する割り当て $[2 \rightarrow p_1]$ 、 s_2 と付随する割り当て $[2 \rightarrow p_2]$ 、 s_3 と付随する割り当て $[2 \rightarrow p_3]$ である。この PSI の構造に沿って、各個体に関してそれに付随する割り当てをもとに述語を解釈するような分配的操作を定義している。

[Kamp 93] の分析では、1 文目の意味表示自体には適切な先行詞が含まれておらず、量化／数量詞に対する分析とは別に、先行詞を構築するための特別な操作 *abstraction* を導入する必要がある。[Krifka 96] ではこのような特別な操作で先行詞を構築する必要はないが、複数形式に特有の複雑な構造 PSI を定義している。加えて、これらをはじめとする既存の分析の多くは自然言語のモデル論的意味論によるものであり、証明論的意味論での分析はまだ十分発展していない。そこで本研究では、証明論的意味論である DTS を枠組みに採用し、複数照応の分析を与える。また、依存型理論に元から備わってい

*4 ここで紹介する分析は [Krifka 96, Nouwen 03] を参考にした。

*5 y の集まりである Y' も同様に構築されるが、ここでは省略する。

	Σ 型	Π 型
標準的な表記	$(\Sigma x : A)B(x)$	$(\Pi x : A)B(x)$
DTS の表記	$\begin{bmatrix} x:A \\ B(x) \end{bmatrix}$	$(x:A) \rightarrow B(x)$
$x \notin fv(B)$ のとき	$\begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix}$	$A \rightarrow B$

図 1: Σ 型と Π 型の表記法

るデータ構造を用い、DTS における照応と一般化量子／数量詞文の分析に基づくことで、複数照応のための特別な構造や操作を導入せずとも (2) の依存的解釈が導出可能であることを示す。

3. 依存型意味論における照応の分析

この節では、本研究の意味論の枠組みである DTS について概観した後、DTS における基本的な E タイプ照応の分析と一般化量子／数量詞文の分析について解説する。

3.1 依存型意味論 (DTS)

DTS [Bekki 14] は、単純型理論を拡張した依存型理論 [Martin-Löf 84] に基づく自然言語意味論の枠組みである。従来のモデル論的な意味論に対し、DTS は証明論的意味論であり、文間の含意関係をモデルに言及することなく意味表示間での証明可能性として直接とらえることができる。このことから、近年では定理証明器を用いた計算機上での含意関係の計算も試みられている [Chatzikyriakidis 14]。

単純型理論では項と型が明確に区別されるのに対し、依存型理論は項に依存した型 (依存型) を許し、カーリー・ハワード同型対応により、一階述語論理をエンコードできるような論理体系に対応することが知られている。依存型は型構成子 Π と Σ により構成される。 Π は関数型の一般化であり、全称量化に対応する。型 $(\Pi x : A)B(x)$ をもつ項は、型 A の任意の項 a について型 $B(a)$ の項 fa を返すような関数 f である。 Σ は直積型の一般化であり、存在量化に対応する。型 $(\Sigma x : A)B(x)$ をもつ項は、型 A の項 m と型 $B(m)$ の項 n からなる組 (m, n) である。組の要素を取り出す投射関数 π_1, π_2 が定義されており、それぞれ $\pi_1(m, n) = m, \pi_2(m, n) = n$ である。このように Σ 型の項から要素を取り出す操作が定義されている点は、述語論理における存在量化式とは大きく異なる依存型理論に特有の性質であり、照応をはじめとする自然言語の文脈依存的な現象の分析に重要な役割を果たす。 B が x を自由変項として含まないとき、 Π 型は含意 $A \rightarrow B$ に、 Σ 型は連言 $A \wedge B$ に対応する。詳細は [Martin-Löf 84, Ranta 94] を参照されたい。DTS では Σ 型と Π 型を図 1 に示すように表記する。

3.2 単数形 E タイプ照応の分析

冒頭で述べたように、(1) のような単数形の E タイプ照応は、述語論理の式で意味を記述する場合に問題となる現象の 1 つとして知られている (以下に再掲する)。

$$(1) \text{ A man}^1 \text{ entered. He}_1 \text{ whistled.}$$

不確定名詞句を存在量化式に、代名詞を変項に対応づけ、さらに意味表示は文単位で順次与えられるという標準的な仮定にたつと、(1) の意味表示は以下のような論理式で与えられる。

$$(3) \exists x(\text{man}(x) \wedge \text{enter}(x)) \wedge \text{whistle}(x)$$

しかし、これでは代名詞に対応する変項は 1 文目の存在量化式のスコープ外にあり、意図された照応関係をとらえることができない。そのため、従来の動的意味論では、存在量化式のスコープ内に 2 文目の意味表示を導入する方法や、解釈のレベルで存在量化式と変項を関連づける方法などが提案されてきた。

DTS ではこの問題に全く別の解決を与える。まず代名詞の意味表示は未指定項 $@_i$ で記述される。また 2 文の意味表示 M, N から、 M に対応する新しい証明項を導入することで、 Σ 型を用いて談話の意味表示を構築する。これにより、(1) の意味表示は (4) のように与えられる。

$$(4) \left[\begin{array}{c} x: \text{entity} \\ u: \left[\begin{array}{c} \text{man}(x) \\ \text{enter}(x) \end{array} \right] \\ \text{whistle}(@_1^{\text{entity}}) \end{array} \right]$$

型 **entity** は DTS における基本型である。 $@_i^{\Lambda}$ の形式は型のアノテーションと呼ばれ、項 $@_i$ が型 Λ をもつことを指定する。この形式の項は型 Λ をもつ項を構成するための証明探索をトリガし、最終的には構成された具体的な Λ 型の項に置き換わる^{*6}。この一連の処理が照応解決である^{*7}。

$@_i$ がトリガする証明探索による項の構成には、その $@_i$ を自身のスコープ内に含む任意の変項が使用可能であるため、(4) では **entity** 型の項 $\pi_1 u$ で $@_1^{\text{entity}}$ を置き換えることができる。項 $\pi_1 u$ は組 u の第一要素であるので、項 x に対応する。このように、代名詞に対応する項が 1 文目で導入された x のスコープ外にあるにも関わらず、1 文目の項 u から投射関数を使用して要素を取り出すことで、項 x を参照することができる。

3.3 一般化量子化子／数量詞文の分析

[Tanaka 14b, Tanaka 14a] では、[Sundholm 89] による一般化量子化子の分析に基づき、*most* をはじめとする限定詞の意味記述と、数量詞の意味記述への拡張が提案されている。数量詞 *three* には、以下のような意味表示が与えられる^{*8}。

$$[[\text{three}]] \stackrel{\text{def}}{=} \lambda A, B : e \rightarrow \text{type}. \left[\begin{array}{c} u: \text{REST}(A) \\ \text{NSCOPE}(A)(B)(u) \\ \text{SIZE}(u) =_{\mathbb{N}} 3 \end{array} \right]$$

REST, NSCOPE, SIZE はそれぞれ以下のように定義される。

$$\begin{aligned} \text{REST} &\stackrel{\text{def}}{=} \lambda A : e \rightarrow \text{type}. \left[\begin{array}{c} k: \mathbb{N} \\ f: M(k) \rightarrow [x: e] \\ \text{Injection}_e(f) \end{array} \right] \\ \text{NSCOPE} &\stackrel{\text{def}}{=} \lambda A, B : e \rightarrow \text{type}. \lambda u : \text{REST}(A). \\ &\quad \left(z: \left[\begin{array}{c} x: e \\ A(x) \end{array} \right] \right) \rightarrow \left[\begin{array}{c} y: M(\pi_1 u) \\ z = [x: e] \\ A(x) \end{array} \right] ((\pi_1 \pi_2 u) y) \rightarrow B(\pi_1 z) \\ \text{SIZE} &\stackrel{\text{def}}{=} \lambda A : e \rightarrow \text{type}. \lambda u : \text{REST}(A). \pi_1 u \end{aligned}$$

ここで、 $M(k)$ は丁度 k 個の項をもつ型であり、 $\text{Injection}_e(f)$ は関数 f が e で相対化された単射であることを示す。REST は制限部に対応する。単射 f が k 個の項と A を満たす個体に対応づけることから、数量詞文の制限部で言及される個体の集まりを導入する働きをもつ。NSCOPE は核作用域に対応する。REST が f によって定めた個体の集まりを参照し、その任意の構成要素が数量詞文の核作用域を満たすという条件を付加する。SIZE は、制限部で言及された個体の個数に関する条件である。個体の数に対応する $k: \mathbb{N}$ を Σ 型で導入することで、一般化量子化子／数量詞文を統一的に扱え、さらに個体数に関する情報を後から参照することも可能になる。定義の詳細については [Sundholm 89, Tanaka 14a] を参照されたい。

これらを用いると、(2) の 1 文目である *Three students wrote a paper* の意味表示は以下の式で与えられる。

*6 i は未指定項のインデックスの指定であり、同じインデックスをもつ未指定項は同じ項で置換される。

*7 規則や定義の詳細は [佐藤 16] に与えられている。

*8 以降では型 **entity** を e と略記する。また、型 Λ をもつ項 x, y を引数にとる形式、すなわち $\lambda x: \Lambda. \lambda y: \Lambda. M$ は $\lambda x, y: \Lambda. M$ と表記する。さらに本稿では簡単のため、[Tanaka 14b, Tanaka 14a] の元の分析とは異なる表記を導入している。

$$(5) [[\text{three}]](\text{student})(\lambda x. \left[\begin{array}{c} y: e \\ \text{paper}(y) \\ \text{write}(x, y) \end{array} \right])$$

このとき、NSCOPE 部分を展開すると以下ようになる。

$$\left(z: \left[\begin{array}{c} x: e \\ \text{student}(x) \end{array} \right] \right) \rightarrow \left[\begin{array}{c} y: M(\pi_1 u) \\ z = [x: e] \\ \text{student}(x) \end{array} \right] ((\pi_1 \pi_2 u) y) \rightarrow \left[\begin{array}{c} y: e \\ \text{paper}(y) \\ \text{write}(\pi_1 z, y) \end{array} \right]$$

述語 **write** の第一引数が $\pi_1 z$ であることから、核作用域の *wrote a paper* の意味表示は制限部の個体の項に依存している。すなわち、NSCOPE 部分が導入する上記の関数によって、「制限部で言及されたすべての学生について、その学生が書いた論文が存在する」という情報が捕捉されており、(2) の 1 文目の分配的解釈の意味表示が (5) によって得られることがわかる。

4. 複数照応の分析

ここでは、DTS の E タイプ照応の分析と、数量詞文の意味表示とを自然に組み合わせることで、問題となっていた複数照応における代名詞の依存的解釈が説明可能であることを示す。

4.1 複数形代名詞 *they* の意味表示

3.2 節で見たように、DTS では未指定項 $@_i$ を使用することで代名詞の意味表示を与える。代名詞 *he* の場合は、型アノテーションで未指定項に個体型 e を指定した。これによって、最終的に未指定項が e 型の項と置換され、照応解決が完了した意味表示が得られるという仕組みであった。

複数形代名詞である *they* の場合、参照する対象は文脈に与えられている複数の個体である。代名詞 *he* が e 型の項を参照したのに対し、*they* は以下のように定義される型 PLO をもつ項を参照するものとする。

$$\text{PLO} \stackrel{\text{def}}{=} \left[\begin{array}{c} A: e \rightarrow \text{type} \\ u: \text{REST}(A) \\ \text{SIZE}(A)(u) \geq 2 \end{array} \right]$$

型 PLO をもつ項が存在するとき、述語 A を満たす個体を 2 個以上の項と対応づける単射が存在することが保証されるため、文脈上から A を満たす複数の個体を取り出すことが可能となる。代名詞 *they* の意味表示を以下のように与える。

$$[[\text{they}]] \stackrel{\text{def}}{=} \lambda P : e \rightarrow \text{type}. \text{NSCOPE}(\pi_1(@_i^{\text{PLO}}))(P)(\pi_1 \pi_2(@_i^{\text{PLO}}))$$

この意味表示を用いると、(2) の 2 文目である *They sent it to L&P* には次のような意味表示が与えられる。

$$\text{NSCOPE}(\pi_1(@_1^{\text{PLO}}))(\lambda x. \text{sent.to.L\&P}(x, @_2^e))(\pi_1 \pi_2(@_1^{\text{PLO}}))$$

この意味表示には、代名詞 *they* が意味表示に導入する未指定項 $@_1$ と、代名詞 *it* が導入する未指定項 $@_2$ が含まれている。(2) の談話全体の意味表示は、(5) と上記の式から Σ 型を構成することで得られる。この後未指定項 $@_1, @_2$ を、それぞれ証明探索によって構成される具体的な項に置き換えることで、(2) の談話の照応解決が実現することになる。

4.2 代名詞 *it* の依存的解釈

DTS における照応解決の計算規則に基づき、2 つの未指定項 $@_1, @_2$ のうち、*they* に対応する $@_1$ の置換が先に行われる。

まず、代名詞 *they* が 1 文目の *three students* を参照する解釈が可能であることを示す。 $@_1^{\text{PLO}}$ は、型 PLO をもつ項を構成するための証明探索をトリガする。ここでは、1 文目全体

$$v: \left[\begin{array}{l} u: \text{REST}(\text{student}) \\ \left(\left(z: \left[\begin{array}{l} x: e \\ \text{student}(x) \end{array} \right] \right) \rightarrow \left[\begin{array}{l} y: M(\pi_1 u) \\ z = \left[\begin{array}{l} x: e \\ \text{student}(x) \end{array} \right] \end{array} \right] ((\pi_1 \pi_2 u)y) \rightarrow \left[\begin{array}{l} y: e \\ \text{paper}(y) \\ \text{write}(\pi_1 z, y) \end{array} \right] \right] \right] \\ \text{SIZE}(A)(u) =_{\mathbb{N}} 3 \\ \left(p: \left[\begin{array}{l} x: e \\ \text{student}(x) \end{array} \right] \right) \rightarrow \left[\begin{array}{l} q: M(\pi_1 \pi_1 v) \\ p = \left[\begin{array}{l} x: e \\ \text{student}(x) \end{array} \right] \end{array} \right] ((\pi_1 \pi_2 \pi_1 v)q) \rightarrow \text{sent.to.L\&P}(\pi_1 p, @_2^e) \end{array} \right]$$

図 2: 代名詞 *they* の照応解決のみが終了した時点での (2) の意味表示 (NSCOPE 部分のみ展開している)

$$v: \left[\begin{array}{l} u: \text{REST}(\text{student}) \\ \left(\left(z: \left[\begin{array}{l} x: e \\ \text{student}(x) \end{array} \right] \right) \rightarrow \left[\begin{array}{l} y: M(\pi_1 u) \\ z = \left[\begin{array}{l} x: e \\ \text{student}(x) \end{array} \right] \end{array} \right] ((\pi_1 \pi_2 u)y) \rightarrow \left[\begin{array}{l} y: e \\ \text{paper}(y) \\ \text{write}(\pi_1 z, y) \end{array} \right] \right] \right] \\ \text{SIZE}(A)(u) =_{\mathbb{N}} 3 \end{array} \right] \vdash \pi_1 \pi_2 v : \left(z: \left[\begin{array}{l} x: e \\ \text{student}(x) \end{array} \right] \right) \rightarrow \left[\begin{array}{l} y: M(\pi_1 \pi_1 v) \\ z = \left[\begin{array}{l} x: e \\ \text{student}(x) \end{array} \right] \end{array} \right] ((\pi_1 \pi_2 \pi_1 v)y) \rightarrow \left[\begin{array}{l} y: e \\ \text{paper}(y) \\ \text{write}(\pi_1 z, y) \end{array} \right]$$

$$p: \left[\begin{array}{l} x: e \\ \text{student}(x) \end{array} \right], l: \left[\begin{array}{l} q: M(\pi_1 \pi_1 v) \\ p = \left[\begin{array}{l} x: e \\ \text{student}(x) \end{array} \right] \end{array} \right] ((\pi_1 \pi_2 \pi_1 v)q), v: \left[\begin{array}{l} u: \text{REST}(\text{student}) \\ \left(\left(z: \left[\begin{array}{l} x: e \\ \text{student}(x) \end{array} \right] \right) \rightarrow \left[\begin{array}{l} y: M(\pi_1 u) \\ z = \left[\begin{array}{l} x: e \\ \text{student}(x) \end{array} \right] \end{array} \right] ((\pi_1 \pi_2 u)y) \rightarrow \left[\begin{array}{l} y: e \\ \text{paper}(y) \\ \text{write}(\pi_1 z, y) \end{array} \right] \right] \right] \\ \text{SIZE}(A)(u) =_{\mathbb{N}} 3 \end{array} \right] \vdash \pi_1((\pi_1 \pi_2 v)(p)(l)) : e$$

図 3: @₂ と置換される型 *e* の項 $\pi_1((\pi_1 \pi_2 v)(p)(l))$ の構成

の証明項 v から、対応する項を構成することができる。代名詞 *they* の照応解決が完了した意味表示を図 2 に示す*9。

続いて代名詞 *it* に対応する未指定項 @₂ の照応解決が行われる。学生各々の書いた論文を参照するような解釈が説明可能であることを示すには、そのような個体に対応する *e* 型の項が構成可能であることを示せば良い。直観的には、ある「学生」の情報と、「学生」と「その学生が書いた論文」の依存関係の情報が手に入れば、それらを組み合わせることで「その学生が書いた論文」の情報を入手することが可能である。

先述したように、@₂ を *e* 型の具体的な項に置き換える証明探索には @₂ を自身のスコープ内に含むような任意の変項が使用できる。証明探索に使用可能な項のうち、実際に各学生が書いた論文に対応する項の構成に使用されるものを図 3 に示す。先に述べた「学生」の情報に対応するのは、項 p, l である。これは *they* の照応解決によって @₁ が具体的な項に置き換わったことで導入された項である。さらに、「学生」と「その学生が書いた論文」の依存関係に対応するのは、項 $\pi_1 \pi_2 v$ である。これは 1 文目に対応する証明項 v から、投射関数によって NSCOPE 部分を取り出したものである。3.3 節の終わりに述べたように、依存構造をもつこの対応関係 (関数) は 1 文目の意味の一部として元から含まれている。これらから、関数適用と投射関数によって *e* 型の項 $\pi_1((\pi_1 \pi_2 v)(p)(l))$ を構成することができる。この項は以下の Σ 型の項 (すなわち組) の第一要素であり、述語 *write* の第一引数に注目すると、*they* が指す任意の学生 $\pi_1 p$ に依存した項になっていることがわかる。

$$(\pi_1 \pi_2 v)(p)(l) : \left[\begin{array}{l} y: e \\ \text{paper}(y) \\ \text{write}(\pi_1 p, y) \end{array} \right]$$

最後はこの項で @₂ を置き換えることで、(2) 全体の照応解決が完了した意味表示を得ることができる。これにより、(2) における代名詞の依存的解釈に対応する意味表示が導かれた。

5. まとめと今後の課題

本稿では、代名詞の依存的な解釈が問題となる、複数形の E タイプ照応について DTS の枠組みで分析を与えた。依存型理論に元々備わっている依存型のデータ構造を用い、さらに DTS における E タイプ照応の分析と数量詞文の分析を自然に

*9 2 つの未指定項 @₁, @₂ の照応解決は、実際には連続した 1 つの計算プロセスで実現される。ここでは簡単のため、途中段階の意味表示を示している。

組み合わせることで、複数照応に特有の操作や構造を導入することなく意図した照応解決が可能であることを示した。本稿で扱わなかった集団的解釈をはじめ、複数照応のその他の現象に対する包括的な分析については別稿に譲りたい。

参考文献

- [Bekki 14] Bekki, D.: Representing anaphora with dependent types, in *Logical Aspects of Computational Linguistics*, LNCS 8535, pp. 14–29, Springer (2014)
- [Boldini 01] Boldini, P.: The reference of mass terms from a type theoretical point of view, in *Proceedings of Forth International Workshop on Computational Semantics* (2001)
- [Chatzikiyriakidis 13] Chatzikiyriakidis, S. and Luo, Z.: An Account of Natural Language Coordination in Type Theory with Coercive Subtyping, in *Constraint Solving and Language Processing*, LNCS 8114, pp. 31–51, Springer (2013)
- [Chatzikiyriakidis 14] Chatzikiyriakidis, S. and Luo, Z.: Natural language reasoning using proof-assistant technology : rich typing and beyond, in *Proceedings of the EACL 2014 Workshop on TTNLS*, pp. 37–45 (2014)
- [Evans 80] Evans, G.: Pronouns, *Linguistic Inquiry*, Vol. 11, No. 2, pp. 337–362 (1980)
- [Kamp 93] Kamp, H. and Reyle, U.: *From Discourse to Logic*, Kluwer (1993)
- [Krifka 96] Krifka, M.: Parametrized sum individuals for plural anaphora, *Linguistics and Philosophy*, Vol. 19, No. 6, pp. 555–598 (1996)
- [Link 83] Link, G.: *The logical analysis of plurals and mass terms: A lattice-theoretical approach*, de Gruyter (1983)
- [Martin-Löf 84] Martin-Löf, P.: *Intuitionistic Type Theory*, Bibliopolis Naples (1984)
- [Nouwen 03] Nouwen, R.: *Plural Pronominal Anaphora in Context: Dynamic Aspects of Quantification*, PhD thesis, Utrecht Institute for Linguistics OTS (2003)
- [Ranta 94] Ranta, A.: *Type-theoretical Grammar*, Oxford University Press (1994)
- [Sundholm 89] Sundholm, G.: Constructive Generalized Quantifiers, *Synthese*, Vol. 79, No. 1, pp. 1–12 (1989)
- [Tanaka 14a] Tanaka, R.: A Proof-Theoretic Approach to Generalized Quantifiers in Dependent Type Semantics, in *proceedings of the ESSLLI 2014 Student Session*, pp. 140–151 (2014)
- [Tanaka 14b] Tanaka, R., Nakano, Y., and Bekki, D.: Constructive Generalized Quantifiers Revisited, in *New Frontiers in Artificial Intelligence*, LNCS 8417, pp. 115–124, Springer (2014)
- [佐藤 16] 佐藤 未歩, 戸次 大介. 依存型意味論のための型チェックの実装に向けて, 言語処理学会第 22 回年次大会発表論文集, pp. 761–764 (2016)